

ILLUMINATOR AND EXPOSURE APPARATUS

Publication number: JP8148415 (A)

Also published as:

Publication date: 1996-06-07

 JP3521506 (B2)

Inventor(s): OSHINO TETSUYA +

Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK +

Classification:

- International: G03F7/20; H01L21/027; G03F7/20; H01L21/02; (IPC1-7); G03F7/20; H01L21/027

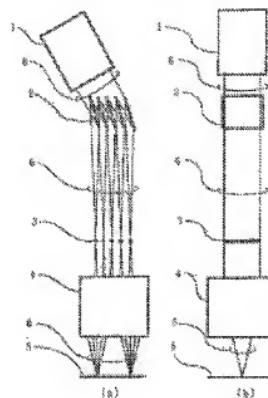
- European: G03F7/20T14

Application number: JP19940289388 19941124

Priority number(s): JP19940289388 19941124

Abstract of JP 8148415 (A)

PURPOSE: To provide an illuminator which has high illumination intensity and an exposure apparatus having the illuminator and high throughput. CONSTITUTION: The illuminator comprises a light source for forming at least a predetermined size of light source image or a light source unit to supply parallel luminous fluxes, a light source section having a totally reflecting optical integrator formed by a plurality of totally reflecting mirrors to reflect the luminous fluxes from the light source unit to form a plurality of light source images, and an illuminating optical system 4 for converging the fluxes from the plurality of the images to illuminate it to an element 5 to be illuminated.

Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

(51)Int.Cl.⁶

H 01 L 21/027

G 03 F 7/20

識別記号

府内整理番号

P I

技術表示箇所

H 01 L 21/30

5 3 1 S

5 3 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 8 OL (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平6-289388

(22)出願日 平成6年(1994)11月24日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 押野 哲也

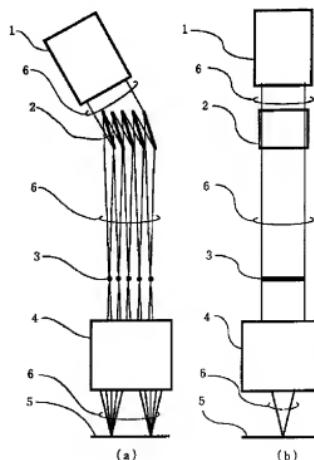
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 照明装置及び発光装置

(57)【要約】

【目的】 従来よりも照明強度の高い照明装置、及び該照明装置を備えたスループットの高い発光装置を提供すること。

【構成】 少なくとも、所定の大きさの光源像または光源を形成する光源部であって、平行光束を供給する光源1と、複数の全反射鏡により構成され、かつ該光源からの平行光束を反射して複数の光源像を形成する全反射型オプティカルインテグレータ2とを有する光源部と、該複数の光源像からの光束を集光して被照明物5を照明する照明光学系4と、を備えた照明装置。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも、

所定の大きさの光源像または光源を形成する光源部であつて、平行光束を供給する光源と、複数の全反射鏡により構成され、かつ該光源からの平行光束を反射して複数の光源像を形成する全反射型オプティカルインテグレータとを有する光源部と、
該複数の光源像からの光束を集光して被照明物を照明する照明光学系と、を備えた照明装置。

【請求項2】 前記複数の光源像を前記照明光学系の前焦点位置付近に形成してなることを特徴とする請求項1記載の照明装置。

【請求項3】 前記全反射型オプティカルインテグレータを構成する複数の全反射鏡を各反射面が互いに平行または略平行となるように配置したことを特徴とする請求項1または2記載の照明装置。

【請求項4】 前記全反射鏡の厚さを1mm以下としたことを特徴とする請求項1～3記載の照明装置。

【請求項5】 前記全反射鏡を放物シンドリカル面鏡としたことを特徴とする請求項1～4記載の照明装置。

【請求項6】 前記全反射鏡を放物トロイダル面鏡としたことを特徴とする請求項1～4記載の照明装置。

【請求項7】 前記全反射鏡を複数の放物トロイダル面が配列した面からなる反射鏡としたことを特徴とする請求項1～4記載の照明装置。

【請求項8】 請求項1～7記載の照明装置を備えた露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業的利用分野】本発明は、被照明物を照らす照明装置、及び該照明装置を備えた露光装置に関するものであり、特に、X線光学系等のミラーブロジェクション方式によりフォトマスク（マスクまたはレチカル）上の回路パターンを反射型の結像装置を介してウエハ等の基板上に転写する際に好適な軟X線投影露光装置、及び該露光装置の照明装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、半導体製造用の露光装置は、物体面としてのフォトマスク（以下、マスクと称する）面上に形成された回路パターンを結像装置を介してウエハ等の基板上に投影転写する。基板にはレジストが塗布されており、露光することによってレジストが感光してレジストパターンが得られる。所望の面積にてレジストパターンを得るために、マスクを均一な光強度と均一な広がり角の光で照明しなければならない。

【0003】従って、露光装置の照明装置は、この条件を満たすために図7に示すようなケーラー照明光学系を採用してきた。図7は、紫外線を用いた従来の照明装置の一例である。従来の照明装置は、紫外線光源11、紫外線光学系12、15、及びマイクロレンズアレイ（イ

ンテグレータ）13で構成される。

【0004】紫外線光源11から出射した光は、放物面鏡等の紫外線光学系12で平行光に変換され、マイクロレンズアレイ13に入射する。マイクロレンズアレイ13は図8に示すような微小レンズを並べた光学素子であり、その後焦点面に複数の微小光源からなる二次光源14を形成する。二次光源14は、一般には図6（a）に示すように、微小な光源が一次元的または二次元的に配列したものである。微小光源の数やその配列の仕方は、照明装置の仕様に合わせて設計される。

【0005】さらに、二次光源14から出射した光は、紫外線光学系15を経て被照射物（マスク）16に照射される。このとき、紫外線光学系15の前焦点位置付近に二次光源14を配置すると、二次光源14から発散した光は、紫外線光学系15を経て平行光となる。さらに、各平行光は異なる角度でマスク16に入射する。従って、マスク16はケーラー照明される。

【0006】従来の照明装置の重要な特徴は、微小光源が二次元的に配列した二次光源を形成することであり、これがケーラー照明を可能にしている。従って、軟X線投影露光装置においても、照明装置はかかる二次光源を形成することが要求される。軟X線投影露光装置用のX線光源としては、高強度のX線が得られるレーザープラズマX線源や、シンクロトロン放射光が望ましい。

【0007】レーザープラズマX線源は、光源の大きさが0.1～数mm程度の点光源である。従って、点光源から二次光源を形成するためには、従来の照明装置と同様な光学系（図7における紫外線光学系12とマイクロレンズアレイ13に相当する光学系）が必要になる。ところで、軟X線露光装置が従来の露光装置と大きく異なる点は、露光波長である。つまり、従来の露光装置で用いた紫外線の波長は、約200～400nm程度であったが、軟X線露光装置で用いる軟X線の波長は、約1～100nm程度と短い。

【0008】そして、従来の露光である紫外線は、光学素子としてレンズを用いることが可能であったが、軟X線領域では、物質の光学定数が1に極めて近いために、レンズを用いることができない。そこで軟X線露光装置では、光学素子として反射鏡を用いる。さらに直入射光学系の場合、反射鏡は、その反射面に反射率を高めるための多層膜を設けることが多い。

【0009】しかし、軟X線領域での多層膜反射鏡の反射率は、あまり高くないという問題点がある。例えば、波長13nmのX線の場合、多層膜の中で比較的反射率の高いことで知られるモリブデンとケイ素からなる多層膜（Mo/Si）の反射率は高々60%程度である。また、波長7nmのX線の場合、モリブデンと炭化ボランからなる多層膜（Mo/B4C）の反射率は高々20%程度である。さらに、波長4.5nmのX線の場合、ニクロム合金と炭素からなる多層膜（NiCr/C）の反射

率はわずか5%程度である。

【0010】従って、照明装置を数多くの多層膜反射鏡で構成すると、マスクに到達するX線の強度は小さくなってしまい、露光時間が長くなってしまう。一方、露光装置は、露光時間が短い（スループットが高い）ことが望まれるため、照明装置は、なるべく少ない枚数の多層膜反射鏡で構成することが望まれる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、二次光源を反射型の光学系で形成する方法として、反射型のインテグレータ（フライアイミラー）を採用することが考えられている（特願平5-21577）。従来の反射型インテグレータの例を図10及び図11に示す。インテグレータ8の反射面には多層膜9が積層される。反射型インテグレータを用いた照明装置の一例を図9に示す。図に示すように、反射型インテグレータ8を配置することによって、二次光源3が形成される。

【0012】図10に示すインテグレータを用いれば、図6（a）に示すような二次光源が形成され、図11に示すインテグレータを用いれば、図6（b）に示すような二次光源が形成される。しかし、この方法は、インテグレータとして多層膜反射鏡を用いなければならないので、照明光の強度が減少してしまうという問題点を有する。

【0013】また、多層膜の反射率は、基板の表面粗さが大きいと激しく低下してしまう。例えば、波長13nmのX線の場合、表面粗さは3Årms程度という極めて小さな値が望まれる。したがって、インテグレータの基板の表面粗さが大きい場合は、多層膜の反射率が小さくなるという問題点があった。本発明は、前記問題点を解決し、従来よりも照明強度の高い照明装置、及び該照明装置を備えたスループットの高い露光装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】そのため、本発明は第一に「少なくとも、所定の大きさの光源像または光源を形成する光源部であって、平行光束を供給する光源と、複数の全反射鏡により構成され、かつ該光源からの平行光束を反射して複数の光源像を形成する全反射型オプティカルインテグレータとを有する光源部と、該複数の光源像からの光束を集光して被照 明物を照明する照明光学系と、を備えた照明装置（請求項1）」を提供する。

【0015】また、本発明は第二に「前記複数の光源像を前記照明光学系の前焦点位置付近に形成してなることを特徴とする請求項1記載の照明装置（請求項2）」を提供する。また、本発明は第三に「前記全反射型オプティカルインテグレータを構成する複数の全反射鏡を各反射面が互いに平行または略平行となるように配置したことと特徴とする請求項1または2記載の照明装置（請求項3）」を提供する。

【0016】また、本発明は第四に「前記全反射鏡の厚さを1mm以下としたことを特徴とする請求項1～3記載の照明装置（請求項4）」を提供する。また、本発明は第五に「前記全反射鏡を放物シンドリカル面鏡としたことを特徴とする請求項1～4記載の照明装置（請求項5）」を提供する。また、本発明は第六に「前記全反射鏡を放物トロイダル面鏡としたことを特徴とする請求項1～4記載の照明装置（請求項6）」を提供する。

【0017】また、本発明は第七に「前記全反射鏡を複数の放物トロイダル面が配列した面からなる反射鏡としたことを特徴とする請求項1～4記載の照明装置（請求項7）」を提供する。また、本発明は第八に「請求項1～7記載の照明装置を備えた露光装置（請求項8）」を提供する。

【0018】

【作用】図1は、本発明にかかる照明装置の一例を示す概略構成図である。図1の照明装置は、光源1とインテグレータ（複数の全反射鏡で構成される）2とを有する光源部、及び照明（集光）光学系4を備えている。光源1からは、X線6の平行光束が放出してインテグレータ2に入射する。インテグレータ2は、複数の全反射鏡で構成され、それぞれの全反射鏡は入射平行光束の一部を反射集光して二次光源3を形成する。このとき、二次光源は図6（b）に示したような形態となる。

【0019】二次光源3から発散したX線6は、照明光学系4で集光されて、マスク5に照射される。インテグレータ2は、X線が全反射鏡表面に小さな斜入射角で入射するように配置するとよい。このとき、X線は全反射される。例えば、全反射鏡としてその反射面がモリブデンからなる反射鏡を用いた場合は、波長13nmX線を反射率90%以上の高い反射率で反射することが可能である。

【0020】このように、本発明にかかる照明装置は、高強度の照明光を供給することが可能であり、その結果、該照明装置を備えた露光装置（例えば、軟X線露光装置）のスループットを高めることができる。全反射鏡の反射率は、X線が入射する斜入射角度が小さいほど高くなる。従って、インテグレータは、斜入射角がなるべく小さくなるように配置することが好ましい。特に、全反射が起こる角度（臨界角）よりも小さな角度で反射させることが好ましい。

【0021】臨界角は、X線の波長と反射面の物質により異なる。従って、反射面の物質は反射率が高く、しかも臨界角が大きいものが好ましい。例えば、波長13nmのX線に対しては、モリブデン、ロジウム、ルテニウムなどが、波長7nmのX線に対しては、ランタン、モリブデンなどが、波長4.5nmのX線に対しては、ニッケル、クロムなどがよい。

【0022】また、全反射鏡は、反射面の表面粗さが小さいほど散乱が小さくなり、その結果、反射率が高くな

る。従って、全反射鏡の表面は平滑であることが好ましい。インテグレータを構成する全反射鏡は、その後ろ焦点位置に二次光源を形成する。従って、二次光源の位置および形態は、全反射鏡の形状、焦点距離、及び配置などによって決まる。従って、これらの組み合わせにより様々な形態の二次光源を作り出すことができる。

【0023】本発明にかかる照明光学系は、被照明物を均一な強度かつ均一な広がり角のX線で照明するものが好ましい。そのため、二次光源を構成する複数の光源像を照明光学系の前焦点位置付近に形成することが好ましい（請求項2）。また、インテグレータを構成するそれぞれの全反射鏡は、入射する平行光束を空間的に効率よく反射するように配置することが好ましい。つまり、入射光束のうち、インテグレータで反射されない部分がなるべく少なくなるように全反射鏡を配置すれば、照明光の強度を高めることができる。

【0024】ところで、全反射鏡を図1に示すように、その反射面が互いに平行または略平行となるように配列すると、入射する平行光束を空間的に効率よく反射することができるので好ましい（請求項3）。また、入射光束の一部が反射鏡の側面に入射してしまうと、そのX線は反射されない（X線が損失する）。従って、かかるX線の損失を少なくするために、全反射鏡の厚さを薄くすることが好ましく、特に全反射鏡の厚さを1mm以下とすることが好ましい（請求項4）。

【0025】インテグレータで反射したX線は、集光されて二次光源を形成する。全反射鏡を、その反射面が互いに平行または略平行となるように配列すると、二次光源を光軸にはほぼ垂直な平面内に作り出すことが容易となる。つまり、各全反射鏡の後の焦点距離が略同じで、全反射鏡の二次光源からの距離が略同じになるように配置してやれば、微小な光源が光軸にはほぼ垂直な平面内に配列する。

【0026】このとき、全反射鏡は斜入射光学系となる。そのため、例えば球面鏡では、収差が大きくなり、二次光源がぼけて広がってしまう。従って、全反射鏡は収差の小さな曲面鏡であることが好ましく、例えば、放物シンドリカル面鏡や放物トロイダル面鏡が好ましい（請求項5～7）。二次光源を構成する微小光源の位置は、全反射鏡の焦点位置であるから、全反射鏡の配置や焦点距離で自由に決めることができる。微小光源の位置は、照明光学系に要求される仕様（例えば、マスクを照明するX線の強度や広がり角、およびこれらの均一性など）に基づいて考えればよく、その方法は従来の照明光学系に於いて、微小光源の配置を決めるのと同じ方法または類似した方法よい。

【0027】軟X線露光装置の場合、結像光学系の設計上の制限で、輪帯状あるいは帯状の視野を走査して露光する場合がある。このときは、臨界ケーラー照明することが好ましく（「特願平6-25565」参照）、図6

（b）に示すように、微小光源を一次元的に配列すれば良い。本発明にかかる照明装置では、インテグレータで平行光束を一方向にのみ集光することにより、図6

（b）に示すような二次光源を形成できる。このようなインテグレータを構成する全反射鏡としては、例えば、図5（a）に示すような放物シンドリカル面鏡が好ましい（請求項5）。

【0028】また、同じく臨界ケーラー照明において、「特願平6-216132」に記載の照明装置の二次光源は、図6（c）のようになるが、この場合のインテグレータを構成する全反射鏡としては、例えば、図5

（b）に示すような放物トロイダル面鏡が好ましい（請求項6）。また、マスク全面を一括で照明するときは、図6（a）に示したように、微小光源が二次元的に配列するようにすればよい。この場合のインテグレータを構成する全反射鏡としては、例えば、図5（c）に示すような複数の放物トロイダル面が配列した反射鏡が好ましい（請求項7）。

【0029】また、放物シンドリカル面の全反射鏡からなるインテグレータを二個用意しそれらを図2に示すように、反射面が互いに直交するように配置しても良い。このとき、二つのインテグレータは、その焦点面が一致するようにすればよい。以上のように、本発明にかかる照明装置は、高強度の照明光を供給することが可能であり、その結果、該照明装置を備えた露光装置（例えば、軟X線露光装置）のスループットを高めることができる。

【0030】以下、本発明を実施例によって更に詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0031】

【実施例1】図1は、本実施例の照明装置の概略構成図である。照明装置は、光源1とインテグレータ（複数の全反射鏡で構成される）2とを有する光源部、及び照明（集光）光学系4を備えている。光源1はシンクロトロン放射光光源とビームラインで構成され（不図示）、波長1.3nmのX線6の平行光束を供給する。X線6は、インテグレータ2に入射してから反射される。

【0032】インテグレータ2は、複数の全反射鏡で構成される。全反射鏡は図5（a）に示すような放物シンドリカル鏡であり、平行光束を線状に集光する。また、全反射鏡には、厚さ1mmのアルミニウム製基板上に、厚さ1.00nmのモリブデンを成膜したものを用いた。X線は、全反射鏡に斜入射角約10度で入射する。このときの、反射率は約90%である。

【0033】全反射鏡をその反射面が互いに平行となるように配置することにより、インテグレータ2に入射した平行光束6は、空間的に分割されて反射する。そして、各全反射鏡が微小光源を形成し、図6（b）に示すような二次光源3を照明光学系4の前焦点位置付近に形

成する。二次光源3から出射したX線6は、照明光学系4に入射する。照明光学系4は複数の多層膜反射鏡で構成され、マスク5を輪帯状に照明する。このとき、輪帯の半径方向には臨界照明し、輪帯の円周方向にはケーラー照明する。この結果、マスクは均一な強度と広がり角を有するX線で照明される。

【0034】本実施例では、インテグレータを全反射鏡で構成するため、マスクを高強度のX線で照明できる。その強度は、従来の照明装置の約2倍である。そして、この照明装置を備えた軟X線投影露光装置は、従来の露光装置に比べてスループットが約2倍に向かう。

【0035】

【実施例2】図2は、本実施例の照明装置の概略構成図である。照明装置は、光源1とインテグレータ（複数の全反射鏡で構成される）2とを有する光源部、及び照明（集光）光学系4を備えている。光源1は、シンクロトロン放射光光源とビームラインで構成され（不図示）、波長13nmのX線6の平行光束を供給する。X線6は、インテグレータに入射してから反射される。

【0036】本実施例では、インテグレータを二つ用いる。平行光束は、第一のインテグレータ2で反射した後、さらに第二のインテグレータ2'で反射される。インテグレータ2、2'は、複数の全反射鏡で構成される。全反射鏡は図5（a）に示すような放物シリンドリカル鏡であり、平行光束を線状に集光する。また、全反射鏡には、厚さ1mmのアルミニウム製基板上に、厚さ100nmのモリブデンを成膜したものを用いた。X線は、全反射鏡に斜入射角約10度で入射する。このときの、反射率は約90%である。

【0037】全反射鏡をその反射面が互いに平行となるように配置することにより、インテグレータに入射した平行光束6は、空間的に分割されて反射する。第一のインテグレータ2及び第二のインテグレータ2'は、反射面が直交するように配置される。さらに、二つのインテグレータ2、2'は、焦点距離が異なっており、焦点位置が一致するようになっている。各インテグレータ2、2'は、一方向にのみX線を集光するが、このような直交配置にすることによりX線は点に集光される。そして、図6（a）に示すような二次光源3を照明光学系4の前焦点位置付近に形成する。

【0038】二次光源3から出射したX線6は、照明光学系4に入射する。照明光学系4は複数の多層膜反射鏡で構成され、マスク5全面を照明する。このとき、マスクをケーラー照明する。この結果、マスクは均一な強度と広がり角を有するX線で照明される。本実施例では、インテグレータを全反射鏡で構成するため、マスクを高強度のX線で照明できる。その強度は、従来の照明装置の約4倍である。そして、この照明装置を備えた軟X線投影露光装置は、従来の露光装置に比べてスループットが約4倍に向かう。

【0039】

【実施例3】図3は、本実施例の照明装置の概略構成図である。照明装置は、光源1とインテグレータ（複数の全反射鏡で構成される）2とを有する光源部、及び照明（集光）光学系4を備えている。光源1は、シンクロトロン放射光光源とビームラインで構成され（不図示）、波長13nmのX線6の平行光束を供給する。X線6は、インテグレータ2に入射してから反射される。

【0040】インテグレータ2は、複数の全反射鏡で構成される。全反射鏡は、図5（b）に示すような放物トロイダル鏡であり、平行光束を点状に集光する。また、全反射鏡には、厚さ1mmのアルミニウム製基板上に、厚さ100nmのモリブデンを成膜したものを用いた。X線は、全反射鏡に斜入射角約10度で入射する。このときの反射率は約90%である。

【0041】全反射鏡をその反射面が互いに平行となるように配置することにより、インテグレータ2に入射した平行光束6は、空間的に分割されて反射する。そして、各全反射鏡が微小光源を形成し、図6（c）に示すような二次光源3を照明光学系4の前焦点位置付近に形成する。二次光源3から出射したX線6は、照明光学系4に入射する。照明光学系4は複数の多層膜反射鏡で構成され、マスク5を輪帯状に照明する。このとき、輪帯の半径方向には臨界照明し、輪帯の円周方向にはケーラー照明する。この結果、マスクは均一な強度と広がり角を有するX線で照明される。

【0042】本実施例では、インテグレータを全反射鏡で構成するため、マスクを高強度のX線で照明できる。その強度は、従来の照明装置の約2倍である。そして、この照明装置を備えた軟X線投影露光装置は、従来の露光装置に比べてスループットが約2倍に向かう。

【0043】

【実施例4】図4は、本実施例の照明装置の概略構成図である。照明装置は、光源1とインテグレータ（複数の全反射鏡で構成される）2とを有する光源部、及び照明（集光）光学系4を備えている。光源1は、シンクロトロン放射光光源とビームラインで構成され（不図示）、波長13nmのX線6の平行光束を供給する。X線6は、インテグレータ2に入射してから反射される。

【0044】インテグレータ2は、複数の全反射鏡で構成される。全反射鏡は、図5（c）に示すような複数の放物トロイダル面が配列した鏡であり、平行光束を複数の点に集光する。また、全反射鏡には、厚さ1mmのアルミニウム製基板上に、厚さ100nmのモリブデンを成膜したものを用いた。X線は、全反射鏡に斜入射角約10度で入射する。このときの、反射率は約90%である。

【0045】全反射鏡をその反射面が互いに平行となるように配置することにより、インテグレータ2に入射した平行光束6は、空間的に分割されて反射する。そし

て、各全反射鏡が微小光源を形成し、図6（a）に示すような二次光源3を照明光学系4の前焦点位置付近に形成する。二次光源3から射出したX線6は、照明光学系4に入射する。照明光学系4は複数の多層膜反射鏡で構成され、マスク5全面を照明する。このとき、マスクをケーラー照明する。この結果、マスクは均一な強度と広がり角を有するX線で照明される。

【0046】本実施例では、インテグレータを全反射鏡で構成するため、マスクを高強度のX線で照明できる。その強度は、従来の照明装置の約5倍である。そして、この照明装置を備えた軟X線投影露光装置は、従来の露光装置に比べスループットが約5倍に向かう。

【0047】

【実施例5】図1は、本実施例の照明装置の概略構成図である。照明装置は、光源1とインテグレータ（複数の全反射鏡で構成される）2とを有する光源部、及び照明（集光）光学系4を備えている。光源1は、シンクロトロン放射光光源とビームラインで構成され（不図示）、波長7nmのX線6の平行光束を供給する。X線6は、インテグレータ2に入射してから反射される。

【0048】インテグレータ2は、複数の全反射鏡で構成される。全反射鏡は、図5（a）に示すような放物シリンドリカル鏡であり、平行光束を線状に集光する。また、全反射鏡には、厚さ1mmのアルミニウム製基板上に、厚さ100nmのランタンを成膜したものを用いる。X線は、全反射鏡に斜入射角約5度で入射する。このときの、反射率は約90%である。

【0049】全反射鏡をその反射面が互いに平行となるように配置することにより、インテグレータ2に入射した平行光束6は、空間的に分割されて反射する。そして、各全反射鏡が微小光源を形成し、図6（b）に示すような二次光源3を照明光学系4の前焦点位置付近に形成する。二次光源3から射出したX線6は、照明光学系4に入射する。照明光学系4は複数の多層膜反射鏡で構成され、マスク5を輪帯状に照明する。このとき、輪帯の半径方向には臨界照明し、輪帶の円周方向にはケーラー照明する。この結果、マスクは均一な強度と広がり角を有するX線で照明される。

【0050】本実施例では、インテグレータを全反射鏡で構成するため、マスクを高強度のX線で照明できる。その強度は、従来の照明装置の約5倍である。そして、この照明装置を備えた軟X線投影露光装置は、従来の露光装置に比べスループットが約5倍に向かう。

【0051】

【実施例6】図1は、本実施例の照明装置の概略構成図である。照明装置は、光源1とインテグレータ（複数の全反射鏡で構成される）2とを有する光源部、及び照明（集光）光学系4を備えている。光源1は、シンクロトロン放射光光源とビームラインで構成され（不図示）、波長4.5nmのX線6の平行光束を供給する。X線6

は、インテグレータ2に入射してから反射される。

【0052】インテグレータ2は、複数の全反射鏡で構成される。全反射鏡は、図5（a）に示すような放物シリンドリカル鏡であり、平行光束を線状に集光する。また、全反射鏡には、厚さ1mmのアルミニウム製基板上に、厚さ100nmのクロムを成膜したものを用いた。X線は、全反射鏡に斜入射角約5度で入射する。このときの、反射率は約65%である。

【0053】全反射鏡をその反射面が互いに平行となるように配置することにより、インテグレータ2に入射した平行光束6は、空間的に分割されて反射する。そして、各全反射鏡が微小光源を形成し、図6（b）に示すような二次光源3を照明光学系4の前焦点位置付近に形成する。二次光源3から射出したX線6は、照明光学系4に入射する。照明光学系4は複数の多層膜反射鏡で構成され、マスク5を輪帶状に照明する。このとき、輪帶の半径方向には臨界照明し、輪帶の円周方向にはケーラー照明する。この結果、マスクは均一な強度と広がり角を有するX線で照明される。

【0054】本実施例では、インテグレータを全反射鏡で構成するため、マスクを高強度のX線で照明できる。その強度は、従来の照明装置の約1.3倍である。そして、この照明装置を備えた軟X線投影露光装置は、従来の露光装置に比べスループットが約1.3倍に向かう。以上の実施例は、本発明の一例であり、本発明を限定するものではない。光源や光学素子等の配置も本実施例に限らない。微小光源の個数や配置も本実施例に限らない。全反射鏡で二次光源を形成する照明装置は本発明の範囲内である。

【0055】

【発明の効果】以上の様に、本発明の照明装置によれば、高い照明強度で、被照射面を照明することができる。そのため、本発明にかかる照明装置を備えた露光装置では、高いスループットで、マスクのパターンを忠実に基板上に転写することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】は、実施例1、5、6の各照明装置の概略構成図である（a：正面図、b：側面図）。

【図2】は、実施例2の照明装置の概略構成図である（a：正面図、b：側面図）。

【図3】は、実施例3の照明装置の概略構成図である（a：正面図、b：側面図）。

【図4】は、実施例4の照明装置の概略構成図である（a：正面図、b：側面図）。

【図5】は、本発明にかかるインテグレータを構成する全反射鏡の例を示す斜視図である（a：放物シリンドリカル面反射鏡、b：放物トロイダル面反射鏡、c：複数の放物トロイダル面からなる反射鏡）。

【図6】は、二次光源の例を示す説明図である。

【図7】は、従来の照明装置の一例を示す概略構成図で

ある。

【図8】は、従来の照明装置に用いられているインテグレータ（マイクロレンズアレイ）の一例を示す説明図である（a：上から見た図、b：横から見た図）。

【図9】は、従来の照明装置の一例を示す概略構成図である。

【図10】は、従来の照明装置に用いられているインテグレータ（多層膜反射型）の一例を示す説明図である（a：上から見た図、b：断面図）。

【図11】は、従来の照明装置に用いられるインテグレータ（多層膜反射型）の一例を示す図である（a：上から見た図、b：断面図）。

【主要部分の符号の説明】

1 ···· 光源

2 ···· 本発明にかかるインテグレータ（全反射型）

3 ···· 二次光源

4 ···· 照明（集光）光学系

5 ···· マスク（被照射物の一例）

6 ···· X線

7 ···· 全反射鏡

8 ···· 従来のインテグレータ（多層膜反射型）

9 ···· 多層膜

11 ···· 紫外線光源

12 ···· 紫外線光学系

13 ···· 従来のインテグレータ（マイクロレンズアレイ）

14 ···· 二次光源

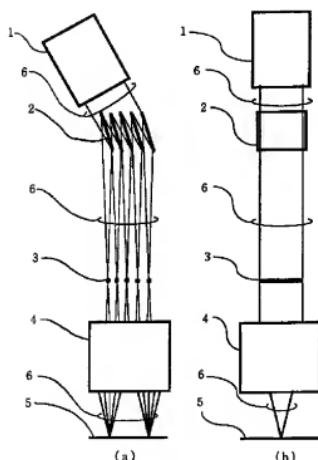
15 ···· 紫外線光学系

16 ···· マスク（被照射物の一例）

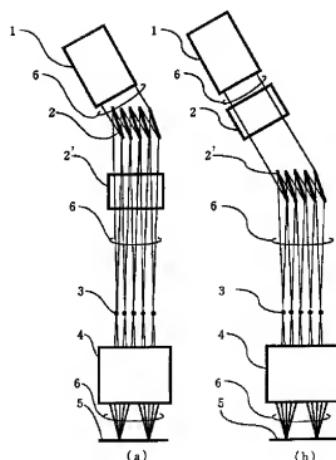
17 ···· 紫外線

以 上

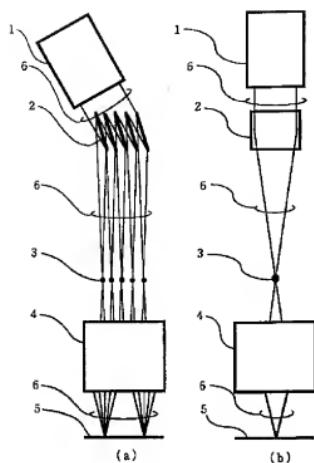
【図1】



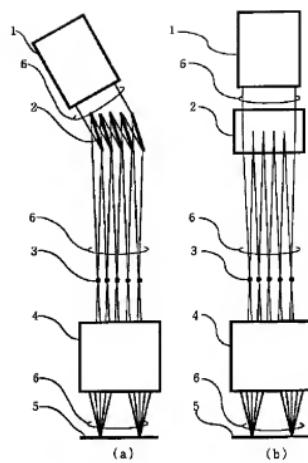
【図2】



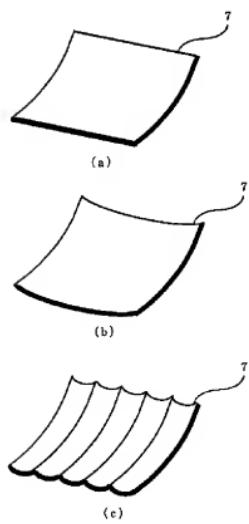
【図3】



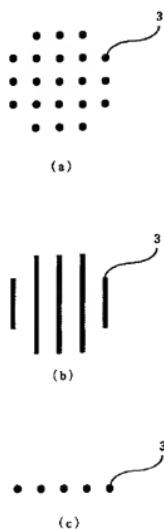
【図4】



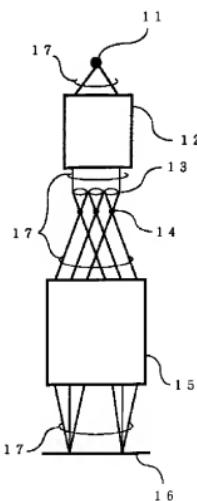
【図5】



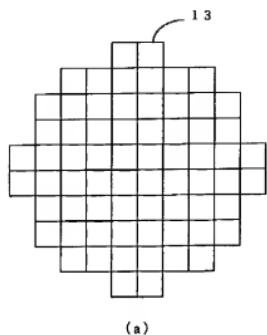
【図6】



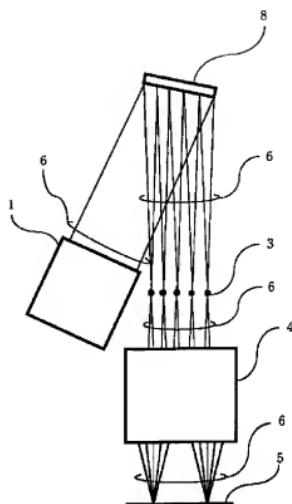
【図7】



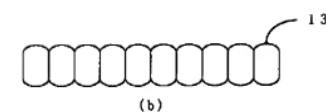
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

